

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 7 月 3 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 8 3 5 9 2
Application Number:

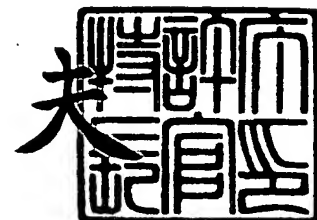
ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 2 8 3 5 9 2]

願 人 T D K 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 4 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 2 8 0 8 4

【書類名】 特許願
【整理番号】 99P05608
【提出日】 平成15年 7月31日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 27/06
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 江畑 克史
【特許出願人】
 【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 T D K株式会社
 【代表者】 澤部 肇
【代理人】
 【識別番号】 100078031
 【氏名又は名称】 大石 皓一
【選任した代理人】
 【識別番号】 100121681
 【氏名又は名称】 緒方 和文
【選任した代理人】
 【識別番号】 100126468
 【氏名又は名称】 田久保 泰夫
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 074148
 【納付金額】 21,000円
【その他】 平成 1 5 年 6 月 2 7 日付で名称変更届を提出しております。
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

所定の閉空間を有する共振器内に、前記閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入し、前記共振器内に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出することを特徴とする柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【請求項 2】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項 1 に記載の柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【請求項 3】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項 1 に記載の柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【請求項 4】

前記電磁波の共振モードが、 TE_{011} モードであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 5】

柱状の誘電体の成形物を、前記共振器内に封入し、前記共振器内の閉空間が真空であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 6】

柱状の誘電体の成形物および気体を、前記共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【請求項 7】

柱状の誘電体の成形物および気体を、前記共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【請求項 8】

柱状の誘電体の成形物および気体を、前記共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法。

【書類名】 明細書**【発明の名称】 柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法に関するものであり、さらに詳細には、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を高い精度で測定することができる柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法に関するものである。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

各種無線装置の高性能化に伴い、より高性能な高周波用の誘電体が求められている。高周波用の誘電体を開発するにあたっては、誘電体の成形物の誘電特性として複素誘電率を、簡便に測定する技術が必要とされている。

【0 0 0 3】

一般には、誘電体の成形物の複素誘電率の測定は、摂動法や空洞共振器法および誘電体共振器法を用いて行われている。

【0 0 0 4】

これらの測定方法では、測定対象となる誘電体の成形物が、それぞれの測定方法で定められた所定の形状であることが必要であった。例えば、摂動法では細長い棒状に、空洞共振器法ではシート状に、誘電体共振器法では円柱状に、測定対象となる誘電体が成形されている必要があった。

【0 0 0 5】

【非特許文献 1】 飯島康、「Electronic Monthly」、新光商事株式会社、1 9 9 8 年 7 月

【非特許文献 2】 JIS R 1627:1996 「マイクロ波用ファインセラミックスの誘電特性の試験方法」、日本規格協会、1 9 9 6 年 7 月

【非特許文献 3】 JIS R 1641:2002 「ファインセラミックス基板のマイクロ波誘電特性の試験方法」、日本規格協会、2 0 0 2 年 1 月

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0 0 0 6】**

しかしながら、誘電体の種類によっては、誘電体の成形物を円柱状に成形することは容易であるが、細長い棒状や板状に成形するのが困難であり、摂動法や空洞共振器法を用いて誘電体の複素誘電率を測定することができないという問題があった。一方、円柱状の誘電体の成形物を測定することが可能な誘電体共振器法では、複素誘電率のうち比誘電率が低い誘電体、たとえば、樹脂などについては、誘電体の比誘電率および誘電正接を測定できないという問題があった。

【0 0 0 7】

したがって、本発明は、高い精度で、複素誘電率のうち比誘電率が低い円柱状の誘電体の成形物の比誘電率も測定可能な、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を測定することができる柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】**【0 0 0 8】**

本発明のかかる目的は、所定の閉空間を有する共振器内に、前記閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入し、前記共振器内に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出することを特徴とする柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法によって達成される。

【0 0 0 9】

本発明によれば、共振器内に、柱状の誘電体の成形物および気体を封入して、空洞共振器内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器から出力された電磁波のTEモードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を算出するように構成されているから、高い精度で、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を測定することが可能となる。

【0010】

本発明の好ましい実施態様においては、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体成形物の比誘電率の算出であるように構成されている。

【0011】

本発明の好ましい実施態様においては、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体の成形物の誘電正接の算出であるように構成されている。

【0012】

本発明の好ましい実施態様においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードは、無負荷Q値が高いTE₀₁₁モードを用いられるように構成されている。

【0013】

本発明の好ましい実施態様においては、柱状の誘電体の成形物を共振器内に封入し、共振器内の閉空間が真空であるように構成されている。

【0014】

本発明の好ましい実施態様によれば、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入し、空洞共振器の閉空間内を真空としてから、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定を行うことにより、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0015】

本発明の好ましい実施態様においては、柱状の誘電体の成形物および気体を、共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入するように構成されている。

【0016】

本発明の別の好ましい実施態様においては、柱状の誘電体の成形物および気体を、共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入するように構成されている。

【0017】

本発明のさらに別の好ましい実施態様においては、柱状の誘電体の成形物および気体を、共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入するように構成されている。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、高い精度で、複素誘電率のうち比誘電率が低い円柱状の誘電体の成形物の比誘電率も測定可能な、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を測定することができる柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、添付図面に基づいて、本発明の好ましい実施態様につき、詳細に説明を加える。

【0020】

図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法を実施する測定装置のブロック図である。ここに、粉体状の誘電体の複素誘電率は、誘電体の比誘電率および誘電体の誘電正接を意味する。

【0021】

図1に示されるように、測定装置2は、空洞共振器4とネットワークアナライザ6と演算処理装置8を備えている。

【0022】

空洞共振器4は、複素誘電率を測定すべき円柱状の誘電体の成形物および気体を封入するための円筒状の金属製容器によって構成されている。

【0023】

また、ネットワークアナライザ6は、空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を受け、空洞共振器4から受けた電磁波から、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定して、測定結果を、演算処理装置8に出力するように構成されている。

【0024】

演算処理装置8は、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を算出するように構成されている。

【0025】

図2は、空洞共振器4の略斜視図であり、図3は、図2に示された空洞共振器4のX-X線に沿った略断面図である。

【0026】

図2に示されるように、空洞共振器4は、シリンダ14、第一のピストン20、同軸ケーブル22、ねじ34a、34bおよび第二のピストン40を備えている。

【0027】

図3に示されるように、第一のピストン20は、第一の円板26と、第一の円板26の中心から垂直に延びる第一の円柱体28とを備え、第一の円板26および第一の円柱体28には、2つの貫通孔30a、30bが形成され、第一の円柱体28の先端部には、円環状の溝32が形成されている。

【0028】

図3に示されるように、同軸ケーブル22は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入され、同軸ケーブル22の先端部には、ループアンテナ24が取り付けられている。

【0029】

図3に示されるように、第二のピストン40は、第二の円板42と、第二の円板42の中心から垂直に延びる第二の円柱体44を備えている。

【0030】

図3に示されるように、シリンダ14には、その中央部に、第一のピストン20の第一の円柱体28の外径および第二のピストン40の第二の円柱体44の外径に等しい内径を有する貫通孔16が形成されており、貫通孔16内には、上方から、第一のピストン20の第一の円柱体28が挿入され、下方から、第二のピストン40の第二の円柱体44が挿入されている。

【0031】

その結果、図3に示されるように、シリンダ14の貫通孔16内には、第一のピストン20の第一の円柱体28と、第二のピストン40の第二の円柱体44とによって、閉空間が形成されている。

【0032】

また、シリンダ14には、その軸に略直交する2つの貫通孔36a、36bが形成されており、貫通孔36a内には、第一のピストン20の第一の円柱体28の位置を調整するねじ34aが挿入され、貫通孔36b内には、第二のピストン40の第二の円柱体44の位置を調整するねじ34bが挿入されている。

【0033】

以上のように構成された測定装置2においては、以下のようにして、円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率が測定される。

【0034】

円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を測定するにあたっては、まず、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が、空洞共振器4内に形成された閉空間内に封入され、ネットワークアナライザ6から、電磁波が、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力される。

【0035】

電磁波の入力に応答して、空洞共振器 4 から、電磁波が出力され、ループアンテナ 24 によって受信される。

【0036】

ループアンテナ 24 によって受信された電磁波は、同軸ケーブル 22 を介して、ネットワークアナライザ 6 に入力される。

【0037】

同軸ケーブル 22 を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ 6 によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 、ならびに TE₀₁₂モードでの共振周波数 f_2 が測定される。

【0038】

一般に、空洞共振器 4 内に、ネットワークアナライザ 6 から、電磁波を入力したときは、TE₀₁₁モードに対する縮退モードとして、TM₁₁₁モードが存在し、TE₀₁₁モードでの共振周波数と、TM₁₁₁モードでの共振周波数が重なり合って、TE₀₁₁モードでの共振周波数、挿入損失および電力半値幅を正確に測定できないという問題があるが、本実施態様においては、第一のピストン 20 の第一の円柱体 28 の先端部には、溝 32 が形成されており、空洞共振器 4 内に形成された閉空間内には、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が封入されているから、TE₀₁₁モードでの共振周波数と TM₁₁₁モードでの共振周波数を分離することができ、したがって、TE₀₁₁モードでの共振周波数を正確に測定することが可能となる。

【0039】

こうして、ネットワークアナライザ 6 によって測定された TE₀₁₁モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 、ならびに TE₀₁₂モードでの共振周波数 f_2 が、ネットワークアナライザ 6 から演算処理装置 8 に出力される。

【0040】

TE₀₁₁モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 、ならびに TE₀₁₂モードでの共振周波数 f_2 が、ネットワークアナライザ 6 から、演算処理装置 8 に出力されると、複素誘電率を測定すべき円柱状の誘電体の成形物 10 が、空洞共振器 4 の閉空間内に封入される。ここに、円柱状の誘電体の成形物 10 の断面の径は、貫通孔 16 の内径と等しくなるように成形されている。

【0041】

その結果、図 3 に示されるように、空洞共振器 4 の閉空間内に、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体の層 12 が形成される。

【0042】

次いで、複素誘電率を測定すべき円柱状の誘電体の成形物 10 が封入された空洞共振器 4 内に、電磁波が、ネットワークアナライザ 6 から、同軸ケーブル 22 およびループアンテナ 24 を介して、出力される。

【0043】

ネットワークアナライザ 6 から、空洞共振器 4 内に、電磁波が入力されると、電磁波の入力に応答して、空洞共振器 4 から、電磁波が出力され、ループアンテナ 24 によって受信される。

【0044】

ループアンテナ 24 によって受信された電磁波は、同軸ケーブル 22 を介して、ネットワークアナライザ 6 に入力される。

【0045】

同軸ケーブル 22 を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ 6 によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数 f_3 、共振周波数 f_3 における挿入損失 IL_3 および電力半値幅 Δf_3 が測定される。

【0046】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE₀₁₁モードでの共振周波数 f_3 、共振周波数 f_3 における挿入損失 IL_3 および電力半値幅 Δf_3 が、演算処理装置8に出力される。

【0047】

演算処理装置8においては、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数 f_1 、挿入損失 IL_1 、電力半値幅 Δf_1 および共振周波数 f_2 が、式(1)ないし式(3)に代入され、空洞共振器4の内壁の実効導電率 σ 、円柱状の誘電体の成形物10が空洞共振器4の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器4の無負荷Q値である Q_1 および空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dが求められる。

【0048】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{c}{\pi} \sqrt{\frac{j_{n_2 m_2}^2 \cdot l_1^2 - j_{n_1 m_1}^2 \cdot l_2^2}{f_2^2 \cdot l_1^2 - f_1^2 \cdot l_2^2}} \\ H &= \frac{c}{2} \sqrt{\frac{j_{n_2 m_2}^2 \cdot l_1^2 - j_{n_1 m_1}^2 \cdot l_2^2}{f_1^2 \cdot j_{n_2 m_2}^2 - f_2^2 \cdot j_{n_1 m_1}^2}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、

H：閉空間の見かけの高さ

D：閉空間の見かけの直径

$j'_{n_1 m_1}$ ： n_1 次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{n_1}(x)$ としたときの $j'_{n_1}(x)=0$ なる第 m_1 番目の解

$j'_{n_2 m_2}$ ： n_2 次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{n_2}(x)$ としたときの $j'_{n_2}(x)=0$ なる第 m_2 番目の解

c：真空中の光速である。

【0049】

【数2】

$$Q_1 = \frac{\frac{f_1}{\Delta f_1}}{1 - 10^{-IL_1/20}} \quad (2)$$

ここに、

f_1 ：共振周波数

Δf_1 ：電力半値幅

IL_1 ：挿入損失

である。

【0050】

【数3】

$$\sigma = \frac{4\pi f_1 Q^2 \left\{ j_{n_m}^4 + 2 \left(j_{n_m}^2 l_1 \pi \right)^2 \left(\frac{D}{2H} \right)^3 + \left(1 - \frac{D}{H} \right) \left(\frac{n_1 l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^2}{\mu_0 c^2 \left(j_{n_m}^2 - n_1^2 \right)^2 \left\{ j_{n_m}^2 + \left(\frac{l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^3} \quad (3)$$

ここに、

σ : 空洞共振器の内壁の実効導電率

μ_0 : 真空中の透磁率

π : 円周率

である。

【0051】

次いで、演算処理装置8は、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数 f_3 、電力半値幅 Δf_3 、挿入損失 IL_3 および既に求められた空洞共振器4の閉空間の見かけの直径 D ならびに閉空間内に封入された気体の層12の厚さ L_1 および円柱状の誘電体の成形物10の厚さ L_2 を、式(4)および(5)に代入して、円柱状の誘電体の成形物10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である Q_3 および円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率のうち比誘電率 ϵ_{r2} を算出する。

【0052】

ここに、気体の層12の厚さ L_1 および円柱状の誘電体の成形物10の厚さ L_2 は、予め設定された値であって、測定者によって設定されたあと、演算処理装置8に入力される。

【0053】

【数4】

$$Q_3 = \frac{\frac{f_3}{\Delta f_3}}{1 - 10^{-IL_3/20}} \quad (4)$$

ここに、

f_3 : 共振周波数

Δf_3 : 電力半値幅

IL_3 : 挿入損失

である。

【0054】

【数 5】

$$\left. \begin{aligned}
 L_1 \frac{\tan X_1}{X_1} + L_2 \frac{\tan X_2}{X_2} &= 0 \\
 X_1 &= \beta_1 L_1 \\
 X_2 &= \beta_2 L_2 \\
 \beta_1 &= \sqrt{\varepsilon_{r1} k_0^2 - k_r^2} \\
 \beta_2 &= \sqrt{\varepsilon_{r2} k_0^2 - k_r^2} \\
 k_r &= \frac{2j'_{nm}}{D} \\
 k_0 &= \frac{2\pi f_3}{c}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、

 L_1 : 気体の層 1 2 の厚さ L_2 : 円柱状の誘電体の成形物 1 0 の厚さ D : 閉空間の見かけの直径 ε_{r1} : 気体の比誘電率 ε_{r2} : 円柱状の誘電体の成形物 1 0 の比誘電率 j'_{nm} : n 次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_n(x)$ としたときの $j'_n(x)=0$ なる第 m 番目の解

である。

【0055】

次いで、演算処理装置 8 は、既に算出した実効導電率 σ 、円柱状の誘電体の成形物 1 0 が空洞共振器 4 に封入された状態における空洞共振器 4 の無負荷 Q 値である Q_3 、閉空間の見かけの直径 D 、閉空間内に封入された気体の層 1 2 の厚さ L_1 および円柱状の誘電体の成形物 1 0 の厚さ L_2 を、式 (6) に代入して、円柱状の誘電体の成形物 1 0 の複素誘電率のうち誘電正接を算出する。

【0056】

【数 6】

$$\begin{aligned}
\tan \delta &= \frac{A}{Q_3} - R_s B \\
A &= 1 + \frac{W_{e1}}{W_{e2}} \\
B &= \frac{P_{cy1} + P_{cy2} + P_{end1} + P_{end2}}{2\omega W_{e2} R_s} \\
W_{e1} &= \frac{1}{8} \varepsilon_{r1} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_1 \left(1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right) \\
W_{e2} &= \frac{1}{8} \varepsilon_{r2} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_2 \left(1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2} \\
P_{cy1} &= \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_1 \left(1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right) \\
P_{cy2} &= \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_2 \left(1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2} \\
P_{end1} &= \frac{1}{2} R_s \left(\frac{X_1}{L_1} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01}') \\
P_{end2} &= \frac{1}{2} R_s \left(\frac{X_2}{L_2} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01}') \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2} \\
R_s &= \sqrt{\frac{\pi f_3 \mu_0}{\sigma}} \\
\omega &= 2\pi f_3
\end{aligned} \tag{6}$$

ここに、

Q_3 : 円柱状の誘電体の成形物 10 が空洞共振器 4 に封入された状態における空洞共振器 4 の無負荷 Q 値

W_{e1} : 気体の層 12 の電界の蓄積エネルギー

W_{e2} : 円柱状の誘電体の成形物 10 の電界の蓄積エネルギー

P_{cy1} : 気体の層 12 の側壁における導体損

P_{cy2} : 円柱状の誘電体の成形物 10 の側壁における導体損

P_{end1} : 気体の層 12 のピストン端面における導体損

P_{end2} : 円柱状の誘電体の成形物 10 のピストン端面における導体損

ω : 角周波数

R_s : 空洞共振器の内壁の表面抵抗

j_{01}' : 0 次の第一種ベッセル関数の微分を $j_0'(x)$ としたときの $j_0'(x)=0$ なる第一番目

の解
である。

【0057】

以上のようにして、円柱状の誘電体の成形物10の比誘電率 ϵ_{r2} および誘電正接が求められ、結果として円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率が求められる。

【0058】

本実施態様においては、空洞共振器4内に、円柱状の誘電体の成形物10および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 f_3 、電力半値幅 Δf_3 および挿入損失 IL_3 を測定して、円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率を算出するように構成されている。

【0059】

したがって、本実施態様によれば、円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0060】

図4は、空洞共振器4の閉空間を真空にするための真空装置を含む円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【0061】

図4に示されるように、真空装置46は、真空槽48と真空ポンプ50を備えている。真空槽48は、真空槽48に接続されている真空ポンプ50を用いることによって、真空の状態となる。真空槽48の内部には、空洞共振器4が設けられおり、真空槽48の内部を真空状態にすることによって、結果として空洞共振器4の閉空間も真空の状態となる。

【0062】

空洞共振器4内に円柱状の誘電体の成形物10の成形物を封入してから、真空装置46を用いて、空洞共振器4の内部を真空状態にすることにより、円柱状の誘電体の成形物10に含まれる水分を除去することが可能となる。円柱状の誘電体の成形物10に含まれる水分を除去した状態で、上述した円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率の測定と同様に、空洞共振器4に封入した円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率を測定することにより、円柱状の誘電体の成形物10の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0063】

以下、本発明の効果をより明瞭なものとするため、実施例を掲げる。

【実施例】

【0064】

(実施例)

8. 05 mmの厚さと16 mmの直径を有するテトラフルオロエチレン円柱を用意した。

【0065】

測定装置として、図1に示された測定装置2を用いて、空洞共振器4に形成された閉空間内に、テトラフルオロエチレン円柱を封入し、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率および誘電正接を測定した。

【0066】

まず、空洞共振器4に形成された直径16 mmの貫通孔16の下方から、第二のピストン40を挿入し、位置決めして、ねじ34bにより固定する。さらに、貫通孔16の上方から、第一のピストン20を挿入し、空気の層12の厚さ L_1 が10. 05 mmとなるように、第一のピストン20を位置決めして、第一のピストン20を、ねじ34aにより固定し、空洞共振器4内に、空気を封入した。

【0067】

次いで、ネットワークアナライザ6から、周波数がGHz以上の電磁波を、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力した。

【0068】

さらに、電磁波の入力に応答して、空洞共振器 4 から出力された電磁波を、ループアンテナ 24 によって受信し、同軸ケーブル 22 を介して、ネットワークアナライザ 6 に入力した。

【0069】

次いで、同軸ケーブル 22 を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ 6 によって、共振モードのうち、 TE_{011} モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 ならびに TE_{012} モードでの共振周波数 f_2 を測定した。

【0070】

こうして、ネットワークアナライザ 6 によって測定された TE_{011} モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 ならびに TE_{012} モードでの共振周波数 f_2 を、ネットワークアナライザ 6 から演算処理装置 8 に出力した。

【0071】

TE_{011} モードでの共振周波数 f_1 、共振周波数 f_1 における挿入損失 IL_1 および電力半値幅 Δf_1 ならびに TE_{012} モードでの共振周波数 f_2 を、ネットワークアナライザ 6 から、演算処理装置 8 に出力したのち、貫通孔 16 から、一旦、第一のピストン 20 を外して、貫通孔 16 内に、テトラフルオロエチレン円柱を封入し、再度、第一のピストン 20 を貫通孔 16 の上方から挿入し、空気の層 12 の厚さ L_1 が 2 mm となるように、第一のピストン 20 の位置を調整し、第一のピストン 20 を、ねじ 34a によって固定した。

【0072】

さらに、テトラフルオロエチレン円柱が封入された空洞共振器 4 内に、ネットワークアナライザ 6 から、電磁波を、同軸ケーブル 22 およびループアンテナ 24 を介して、出力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器 4 から出力された電磁波を、ループアンテナ 24 によって受信し、同軸ケーブル 22 を介して、ネットワークアナライザ 6 に入力した。

【0073】

同軸ケーブル 22 を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ 6 によって、共振モードのうち、 TE_{011} モードでの共振周波数 f_3 、共振周波数 f_3 における挿入損失 IL_3 および電力半値幅 Δf_3 を測定した。

【0074】

こうして、ネットワークアナライザ 6 によって測定された TE_{011} モードでの共振周波数 f_3 、共振周波数 f_3 における挿入損失 IL_3 および電力半値幅 Δf_3 を、ネットワークアナライザ 6 から演算処理装置 8 に出力した。

【0075】

次いで、演算処理装置 8 により、ネットワークアナライザ 6 から入力された共振周波数 f_1 、挿入損失 IL_1 、電力半値幅 Δf_1 および共振周波数 f_2 を、式 (1) ないし式 (3) に代入し、空洞共振器 4 の内壁の実効導電率 σ 、テトラフルオロエチレン円柱が空洞共振器 4 の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器 4 の無負荷 Q 値である Q_1 および空洞共振器 4 の閉空間の見かけの直径 D を求めた。

【0076】

さらに、演算処理装置 8 により、ネットワークアナライザ 6 から入力された共振周波数 f_3 、電力半値幅 Δf_3 、挿入損失 IL_3 および既に求めた空洞共振器 4 の閉空間の見かけの直径 D ならびに閉空間内に封入された空気の層 12 の厚さ L_1 およびテトラフルオロエチレン円柱の厚さ L_2 を、式 (4) および (5) に代入して、テトラフルオロエチレン円柱が空洞共振器 4 に封入された状態における空洞共振器 4 の無負荷 Q 値である Q_3 およびテトラフルオロエチレン円柱の比誘電率 ϵ_{r2} を求めた。

【0077】

次いで、演算処理装置 8 により、既に算出した実効導電率 σ 、テトラフルオロエチレン円柱が空洞共振器 4 に封入された状態における空洞共振器 4 の無負荷 Q 値である Q_3 、閉空間の見かけの直径 D 、閉空間内に封入された気体の層 12 の厚さ L_1 およびテトラフルオロエチレン円柱の厚さ L_2 を、式 (6) に代入して、テトラフルオロエチレン円柱の誘

電正接を求めた。

【0078】

以上のようにして、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率 ϵ_{r2} および誘電正接が得られた。

【0079】

(比較例)

実施例との比較例として、1.04 mmの厚さを有するシート状のテトラフルオロエチレンを用意した。JIS規格で定められている空洞共振器法を用いて、周波数11.4 GHzおよび17.9 GHzにおけるシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率および誘電正接を求めた。

【0080】

実施例および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の複素誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの複素誘電率を測定した結果は、表1に示されている。

【0081】

【表1】

	周波数 [GHz]	比誘電率	誘電正接
実施例1	20.6	2.05	0.00021
比較例	11.4	2.06	0.00021
比較例	18.0	2.06	0.00019

また、実施例および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率を測定した結果は、図5に示されている。

【0082】

さらに、実施例および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の誘電正接およびシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接を測定した結果は、図6に示されている。

【0083】

実施例のテトラフルオロエチレン円柱の比誘電率と、比較例のシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率は、2.05前後のほぼ等しい値となった。

【0084】

また、実施例の円柱状のテトラフルオロエチレンの誘電正接と、比較例のシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接は、0.0002前後のほぼ等しい値となった。

【0085】

本発明は、以上の実施態様および実施例に限定されることはなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【0086】

たとえば、前記実施態様および前記実施例においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE₀₁₁モードが用いられているが、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE₀₁₁モードを用いることは必ずしも必要でなく、TE₀₁₁以外のTEモードまたはTMモードを用いることもできる。

【0087】

また、前記実施態様および前記実施例においては、共振器として空洞共振器が用いられているが、共振器として空洞共振器を用いることは必ずしも必要でなく、同軸共振器を用いることもできる。

【0088】

また、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器が円筒状に形成されてい

るが、空洞共振器が円筒状に形成されていることは必ずしも必要でない。

【0089】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されていることは、必ずしも必要でなく、空気に代えて、空洞共振器内の閉空間内に、アルゴンガスや窒素ガスを封入してもよく、また、低損失の誘電体を充填してもよい。

【0090】

また、前記図1に示されている実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に空気を封入することは必ずしも必要でなく、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入してから、空洞共振器の閉空間内を真空としてもよい。

【0091】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28および第一の円柱体44を固定するために、ねじ34a、34bが用いられているが、第一の円柱体28および第二の円柱体44を固定するために、ねじ34a、34bを用いることは必ずしも必要ではなく、シリンダと第一の円板26の間に板を挿入することによって、第一の円柱体28を固定し、またはシリンダと第二の円板42の間に板を挿入することによって、第二の円柱体44を固定するようにしてもよい。

【0092】

また、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE₀₁₁モードの共振周波数とTM₁₁₁モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部の形状はとくに限定されるものではなく、第一の円柱体28の先端部に、円環状の導体板または誘電体板を取り付けてもよく、溝32が第一の円柱体28の先端部に形成されていることは必ずしも必要でない。

【0093】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE₀₁₁モードの共振周波数とTM₁₁₁モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部に円環状の溝32が形成されていることは必ずしも必要でなく、第二の円柱体44の先端部に溝32が形成されていてもよく、また、第二の円柱体44の先端部に、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていてもよい。

【0094】

また、前記実施態様および前記実施例においては、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入された、同軸ケーブル22の先端部に取り付けられているが、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28側に2本取り付けられていることは、必ずしも必要がない。すなわち、ループアンテナ24は、第二の円板42および第二の円柱体44に2つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよく、また、第一の円板26および第一の円柱体28ならびに第二の円板42および第二の円柱体44に1つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図1】図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる円柱状の誘電体の複素誘電率の測定装置のブロック図である。

【0096】

【図2】図2は、空洞共振器の略斜視図である。

【0097】

【図3】図3は、図2に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図である。

【0098】

【図 4】図 4 は、空洞共振器の閉空間を真空にするための真空装置を含む円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【0 0 9 9】

【図 5】図 5 は、実施例および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率を測定した結果を示すグラフである。

【0 1 0 0】

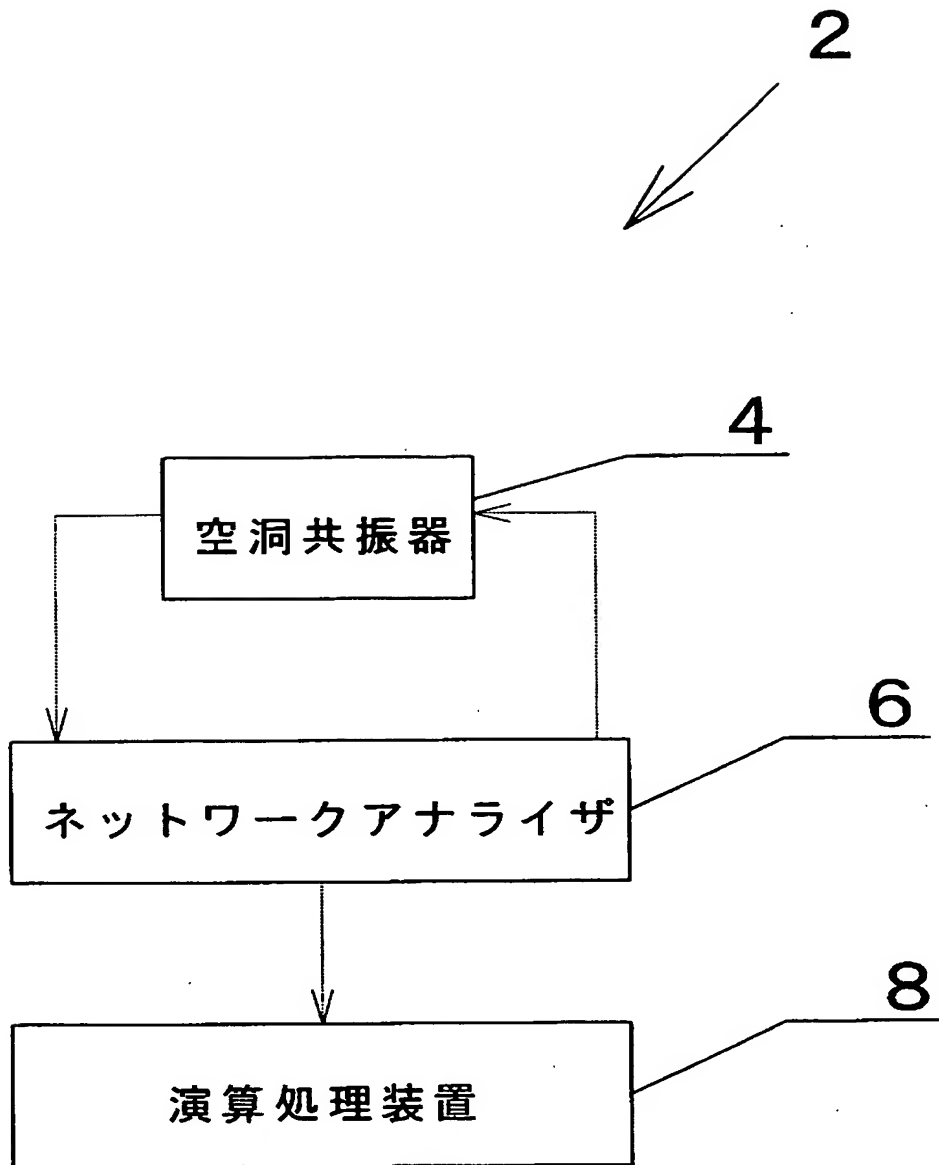
【図 6】図 6 は、実施例および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の誘電正接およびシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接を測定した結果を示すグラフである。

【符号の説明】

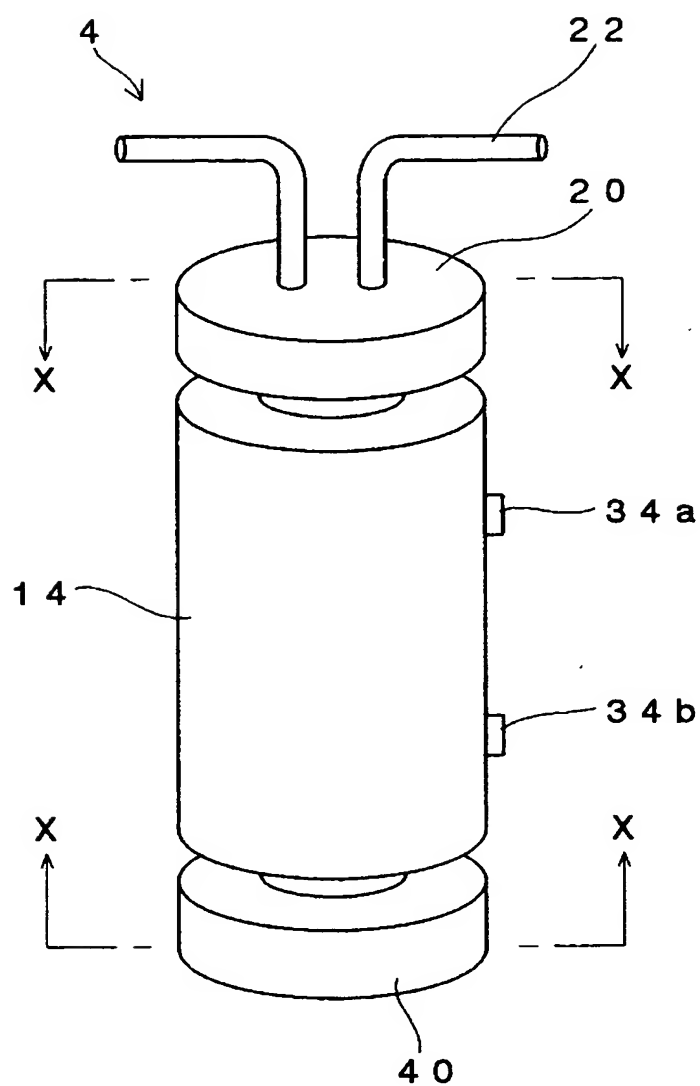
【0 1 0 1】

2	測定装置
4	空洞共振器
6	ネットワークアナライザ
8	演算処理装置
1 0	成形物
1 2	空気の層
1 4	シリンダ
1 6	貫通孔
2 0	第一のピストン
2 2	同軸ケーブル
2 4	ループアンテナ
2 6	第一の円板
2 8	第一の円柱体
3 0 a	貫通孔
3 0 b	貫通孔
3 2	溝
3 4 a	ねじ
3 4 b	ねじ
3 6 a	貫通孔
3 6 b	貫通孔
4 0	第二のピストン
4 2	第二の円板
4 4	第二の円柱体
4 6	真空装置
4 8	真空ポンプ
5 0	真空槽

【書類名】図面
【図1】

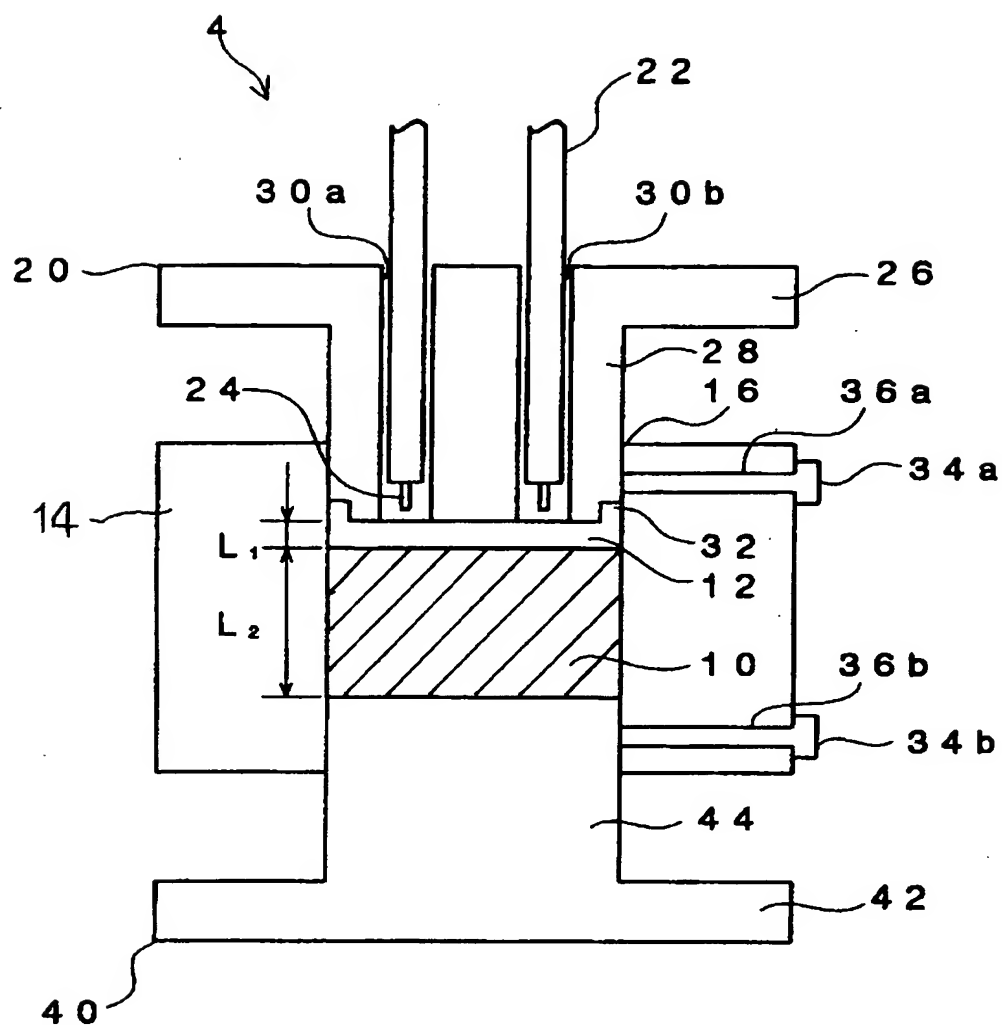


【図 2】

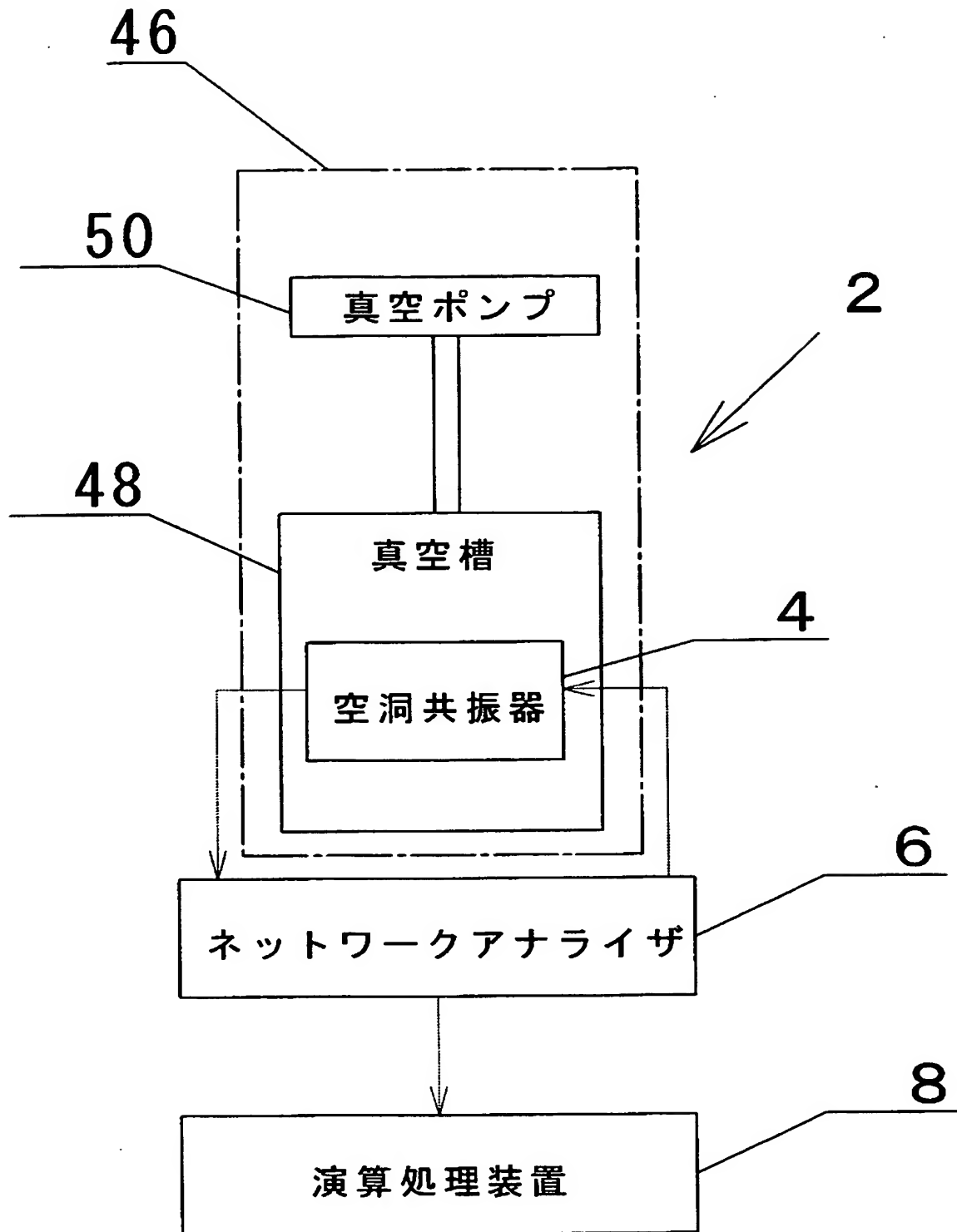


BEST AVAILABLE COPY

【図 3】

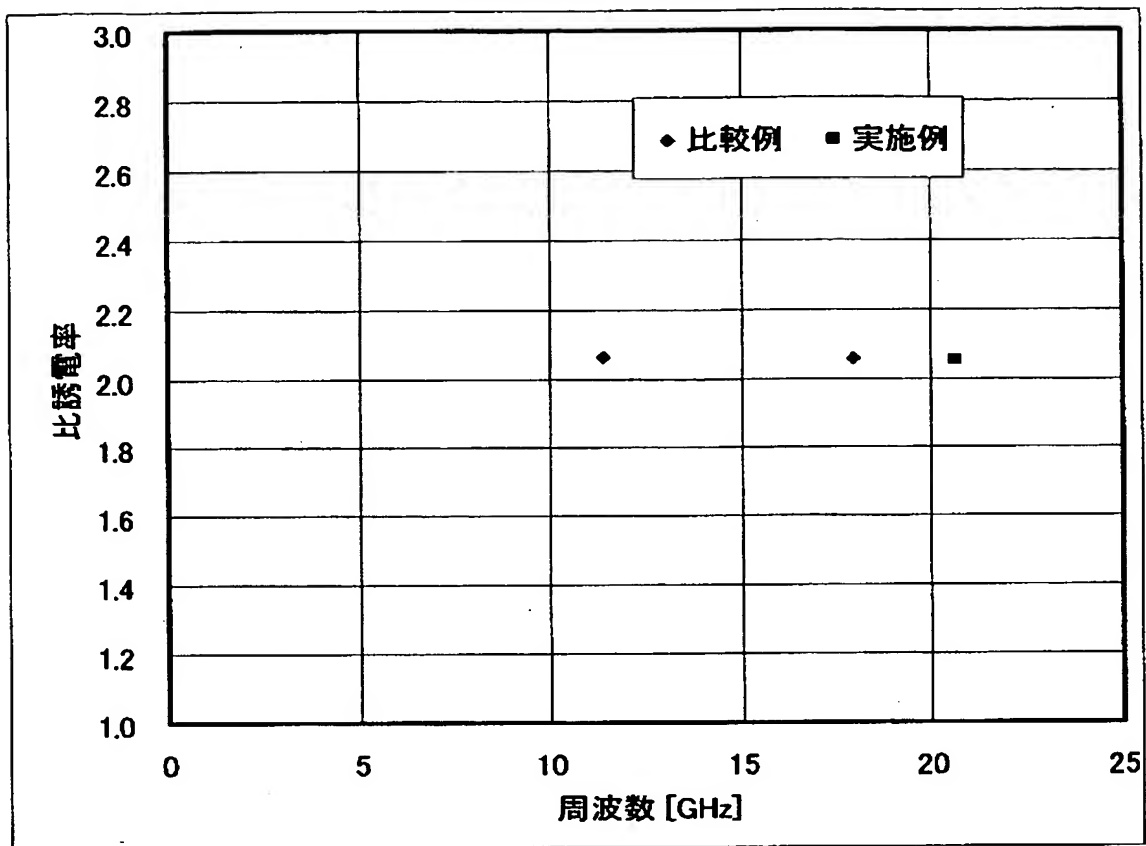


【図4】

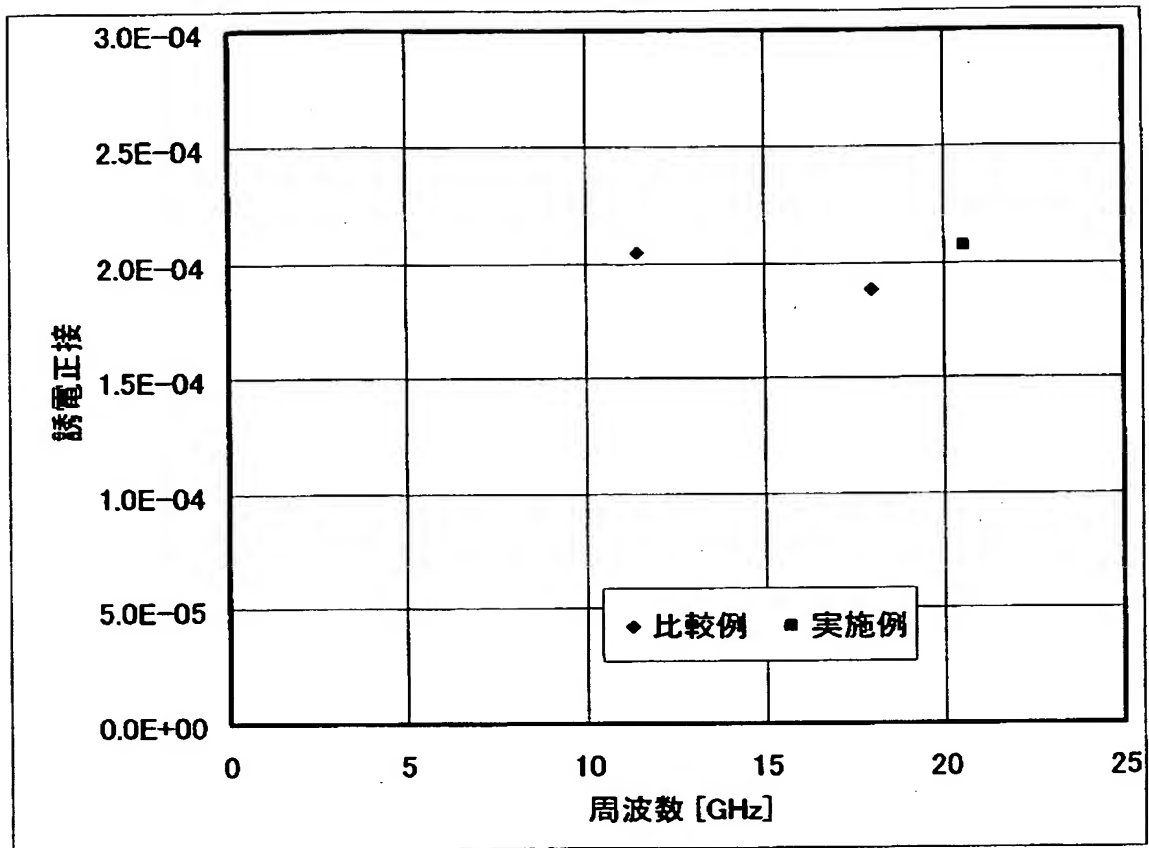


BEST AVAILABLE COPY

【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を高い精度で測定することができる柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法を提供することである。

【解決手段】 柱状の誘電体の成形物および気体が封入された共振器 4 に、電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器 4 から出力された電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅をネットワークアナライザ 6 で測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を算出する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-283592
受付番号	50301270887
書類名	特許願
担当官	鎌田 枉規 8045
作成日	平成 15 年 8 月 20 日

< 認定情報・付加情報 >

【特許出願人】

【識別番号】	000003067
【住所又は居所】	東京都中央区日本橋 1 丁目 13 番 1 号
【氏名又は名称】	T D K 株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100078031
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1-4-1 友泉淡路町ビル 8 階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	大石 皓一

【選任した代理人】

【識別番号】	100121681
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1 丁目 4 番 1 号 友泉淡路町ビル 8 階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	緒方 和文

【選任した代理人】

【識別番号】	100126468
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1 丁目 4 番 1 号 友泉淡路町ビル 8 階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	田久保 泰夫

特願 2 0 0 3 - 2 8 3 5 9 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 6 7]

1. 変更年月日	2 0 0 3 年 6 月 2 7 日
[変更理由]	名称変更
住 所	東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号
氏 名	T D K 株式会社